



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые  
процессы»

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

## ПО УСТРОЙСТВУ ГИДРООБОРУДОВАНИЯ

Автор  
Антоненко В.И.  
Фукомов П.М.

Ростов-на-Дону, 2012



## Аннотация

Лабораторный практикум по устройству гидрооборудования позволяет изучить и освоить стендовое гидравлическое оборудование и гидроаппараты используемые в гидроприводах стационарных и мобильных приводах технологических машин, включает в себя подробное описание устройств и цикл лабораторных работ по испытанию наиболее распространенных типов гидравлического оборудования, используемых при изучении специальных дисциплин студентами специальности 150802 «Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика», направление 141100 Энергетическое машиностроение профиль Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника, 222000 Инноватика профиль Управление инновациями в промышленности, направление 220600 Инноватика.

## Автор



К.т.н. доцент кафедры «Г, ГПА и ТП»  
Антоненко В.И.



Ассистент кафедры «Г, ГПА и ТП»  
Фукомов П.М.





## Оглавление

<b>Лабораторная работа 1 Испытания гидромотора.....</b>	<b>5</b>
1 Цель работы .....	5
2 Общий порядок выполнения работы.....	5
3 Основы функционирования аксиально-поршневого гидромотора .....	6
4 Характеристики гидромоторов .....	7
5 Экспериментальная установка для испытания гидромотора .....	10
6 Методика проведения исследования .....	11
<b>Лабораторная работа 2 Основные гидравлические элементы управления и распределения.....</b>	<b>13</b>
1 Цель работы .....	13
2 Порядок выполнения работы .....	13
3 Структура систем гидроавтоматики.....	14
4 Контрольные вопросы .....	33
5 Порядок разборки гидроаппаратуры .....	33
<b>Лабораторная работа 3 Испытание напорного гидроклапана НГ16-50-16(108.00.000В).....</b>	<b>34</b>
1 Цель работы .....	34
2 Общий порядок выполнения работы.....	34
3 Методы испытаний .....	34
4 Технические требования.....	35
5 Транспортировка и хранение НГ16-50-16 .....	36
6 Указания по эксплуатации (применению) .....	37
7 Правила приёмки и методы контроля НГ16-50-16 .....	38



8 Правила проведения приемо-сдаточных испытаний НІ 16-50-16.....	38
9 Методика проведения приемо-сдаточных испытаний .....	39
<b>Лабораторная работа 4 Приемо-сдаточные испытания гидрораспределителя с электрогидравлическим управлением типа РЭГ50-3.....</b>	<b>43</b>
1 Цель работы .....	43
2 Устройство и принцип действия.....	43
3 Технические характеристики гидрораспределителя с электрогидравлическим управлением типа РЭГ 50-3.....	44
4 Правила проведения приёмо-сдаточных испытаний .....	46
5 Испытательный стенд .....	47
6 Методика выполнения работы .....	49
<b>Лабораторная работа 5 Испытания гидрораспределителя с мускульным управлением типа Р50-3 .....</b>	<b>52</b>
1 Цель работы .....	52
2 Устройство и принцип действия.....	52
3 Технические требования гидрораспределителя с мускульным управлением типа Р50-3. ....	54
4 Методика проведения приемных испытаний гидрораспределителя с мускульным управлением типа Р50-3. ....	56
5 Заключение .....	59
<b>Рекомендуемая литература .....</b>	<b>60</b>



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 ИСПЫТАНИЯ ГИДРОМОТОРА**

Знание характеристик и показателей элементов гидрооборудования, особенно их конечных звеньев - гидродвигателей позволяет разработчикам при создании новых машин и совершенствовании действующих выбирать рациональные для заданных условий параметры привода и его элементную базу.

Основные из них крутящий момент, частота вращения, рабочий объем, габаритные размеры и вес, быстродействие, долговечность, стоимость, расход рабочей жидкости. Одновременный учет всех факторов при выборе гидромотора представляется сложным, но возможна оценка влияния каждого из них в отдельности.

Поэтому знание конструкции гидромоторов и их технических характеристик, требований к их монтажу и эксплуатации является одним из важных условий эффективного применения гидромоторов и приводов на их базе.

### **1 Цель работы**

1.1 Изучение основ функционирования, характеристик гидромотора, методики их экспериментального определения, испытание гидромотора.

### **2 Общий порядок выполнения работы**

2.1 Изучить обобщенную конструктивную схему аксиально-поршневого гидромотора и его основные характеристики.

2.2 Ознакомиться с конструкцией и схемой экспериментального стенда, методикой проведения испытания гидромотора.

2.3 Экспериментально определить основные характеристики исследуемого гидромотора.

2.4 Обработать результаты исследования, построить графики, сделать выводы.

2.5 Оформить и защитить отчет.



### 3 Основы функционирования аксиально-поршневого гидромотора

Гидромотор состоит из следующих основных деталей и узлов (рис.1): ротора 2 с семью поршнями 3, барабана 4 с толкателями 5, радиально-упорного подшипника 8 (наклонной шайбы), вала 7, опирающегося на подшипники, опорно-распределительного диска 1, пружины 9. Масло подводится к гидромотору и отводится от него через отверстия 12, расположенные в диске 1, причем каждое из отверстий связано со своим полукольцевым пазом 13, выполненным в рабочей поверхности диска. Утечки из корпуса отводятся через дренажное отверстие. На торце ротора 2, взаимодействующем с диском 1, выполнены отверстия, выходящие в каждую из рабочих камер. При вращении ротора указанные отверстия соединяются с одним из пазов 13.

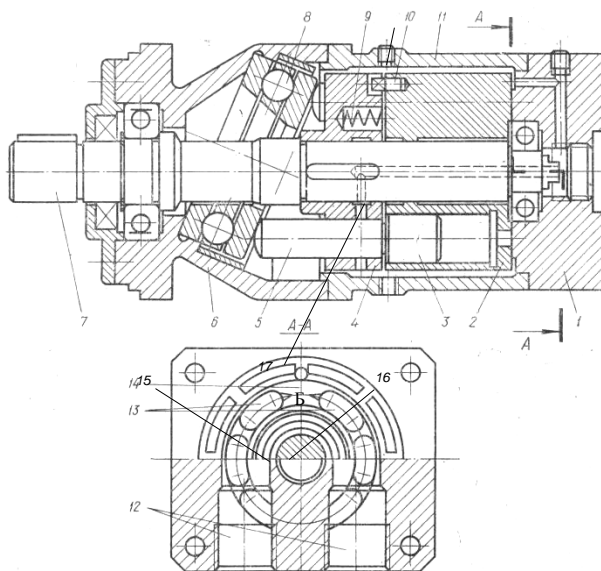


Рис.1. Конструктивная схема аксиально-поршневого гидромотора

При работе гидромотора, масло через одно из отверстий 12, одни из пазов 13 поступает в рабочие камеры, расположенные по



одну сторону от оси Б – Б. Осевое усилие, развиваемое поршнями, через толкатели 5 передается на подшипник 8. Так как последний расположен наклонно (под углом  $\gamma$  к оси вала 7), на толкателях возникают тангенциальные силы  $T$ , заставляющие поворачиваться барабан 4, а вместе с ним вал 7 и ротор 2 связанные с барабаном шпонками 10 и 17. Одновременно поршни, расположенные по другую сторону от оси Б - Б, вдвигаются в ротор, вытесняя масло из соответствующих рабочих камер через полукольцевой паз 13 и другое отверстие 12 в сливную линию.

Ротор прижимается к диску 1 пружиной 9 и давлением масла, действующим на дно рабочих камер. Ротор самоустанавливается относительно опорно-распределительного диска, что частично компенсирует износ трущихся поверхностей, снижает требования к изготовлению.

В процессе работы гидромотора имеют место объемные потери через зазоры между подвижными сопряжениями элементов мотора: торцевой распределитель (торцевая полость ротора 2 и диска 1), поршни 3. Осевой зазор в распределителе зависит от скорости вращения ротора. При вращении зазор увеличивается за счет всплывания ротора на масляном клине. Одна составляющая утечки через осевой зазор вытекает в полость корпуса и отверстие 18 на слив. Другая из напорной полости через перемычку 16 перетекает в сливную полость гидромотора.

Гидромоторы Г15-2...Р отличаются применением более долговечных подшипников и улучшенных материалов, обеспечивающих повышение ресурса. Гидромоторы типа Г15-2...М содержит в конструкции регулятор давления, размещенный непосредственно в корпусе гидромотора и автоматически поддерживающий постоянный перепад давления на дросселе при дроссельном регулировании скорости, а, следовательно, и расход масла, поступающий в гидромотор. При этом обеспечивается малая зависимость частоты вращения от нагрузки.

#### **4 Характеристики гидромоторов**

Объемная машина может быть использована в генераторном (насосном) режиме и режиме гидродвигателя. Характеристики роторных (объемных) машин в их стационарных режимах работы необходимы для определения параметров



## Устройство гидрооборудования

совместной, либо раздельной работы гидромашин при различных кинематических и силовых показателях, основные из них:

4.1 Рабочий объем,  $q_m$  – изменение объема рабочих камер гидромотора за один оборот ротора

$$q_m = V \cdot z \cdot i \cdot m \quad (1)$$

где  $V, z$  – объем рабочей камеры и их количество;

$i$  – количество рядов рабочих камер;

$m$  – количество рабочих циклов, выполняемых камерой за оборот ротора.

Для аксиально-поршневого гидромотора

$$q_m = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot z \cdot D \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (2)$$

4.2 Потребляемый гидромотором расход

$$Q_m = \frac{q_m \cdot n_m}{\eta_0} = \frac{q_m \cdot \omega}{2 \cdot \pi \cdot \eta_0} \quad (3)$$

4.3 Скоростная характеристика гидромотора  $n_m$ , характеризуемая частотой вращения его вала

$$n_m = \frac{Q_{\text{фм}}}{q_m} \cdot \eta_0 \quad (4)$$

Важным кинематическим параметром является жесткость скоростной характеристики при постоянном подводимом расходе  $Q_{\text{фм}}$ . Из уравнения (4) следует, что при постоянном  $Q_{\text{фм}}$  жесткость скоростной характеристики зависит от величины и характера изменения объемных потерь гидромотора, учитываемых объемным КПД  $\eta_0$ .

4.4 Полезный (эффективный) момент на валу гидромотора





## Устройство гидрооборудования

$$M_{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi} \cdot q_m \cdot \Delta p_m \cdot \eta_{мех} \quad (5)$$

где  $\Delta p_m = p_1 - p_2$  - перепад давления на гидромоторе (рис.2);

$\eta_{мех}$  – механически КПД мотора.

### 4.5 Крутящий момент на валу гидромотора

$$M = M_{\varepsilon} + M_{ххл} \quad (6)$$

где  $M_{хх}$  - крутящий момент на валу гидромотора без момента нагрузки  $M_H$ .

### 4.6 Крутящий момент холостого хода

$$M_{хх} = \frac{M_{ном} \cdot \Delta p_{хх}}{5} \quad (7)$$

где  $M_{ном}$  - номинальный крутящий момент гидромотора (для Г15-23Н  $M_{ном} = 33,3$  Нм);

$\Delta p_{хх}$  - перепад давления на гидромоторе, работающем без нагрузки  $M_H$  (МПа).

### 4.7 Механический КПД гидромотора

$$\eta_{мех} = \frac{M_{\varepsilon}}{M_T} = 1 - \frac{M_{хх}}{M_T} \quad (8)$$

где  $M_T$  - теоретический момент на валу гидромотора (Нм).

### 4.8 Эффективная полезная мощность равна

$$N_{мех} = \Delta p_m \cdot Q_{фм} \cdot \eta_{\varepsilon} = \Delta p_m \cdot n_m \cdot q_m \cdot \eta_{\varepsilon} \quad (9)$$

где  $\eta_{\varepsilon}$  - эффективный (реальный) к.п.д. гидромотора.



#### 4.9 Эффективный (реальный) к.п.д. гидромотора

$$n_s = \eta_0 \cdot \eta_{mex} \cdot \eta_{\Gamma} \quad (10)$$

где  $\eta_{\Gamma}$  – гидравлический К.П.Д., учитывающий потери давления в каналах и полостях гидромотора ( $\eta_{\Gamma}=0,98$ ).

### 5 Экспериментальная установка для испытания гидромотора

Экспериментальный стенд смонтирован на сварной раме, состоящей из насосной установки, исследуемого гидромотора, регулирующей и управляющей гидроаппаратуры, контрольно-измерительного комплекса. Гидравлическая схема стенда представлена на рис. 2. При запуске насосной установки рабочая жидкость из бака 1 подается насосом 2 через фильтр 3, пусковой распределитель 6 в напорную полость гидромотора 7. Давление рабочей полости в напорной гидролинии определяется настройкой предохранительного клапана 4 и контролируется манометром 5 (1).

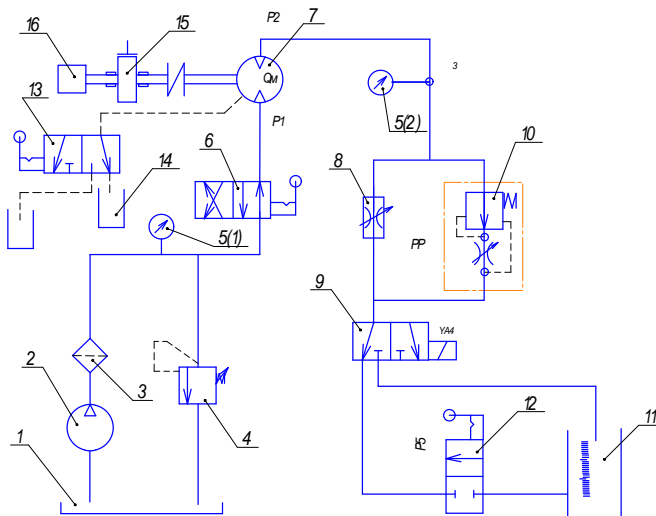


Рис. 2 Гидравлическая схема экспериментального стенда



Слив рабочей жидкости из гидромотора осуществляется через переменный дроссель 8 (Г77-11) или регулятор расхода 10 (Г55-21) (в зависимости от заданного варианта схемы с дросселированием "на выходе"), распределитель 9 в бак 1, При замере расхода гидромотора включением электромагнита YA1 распределителя 9 жидкость поступает в мерную колонку 11. Распределитель 12 обеспечивает сброс рабочей жидкости из мерной колонки. Включением распределителя 13 утечки гидромотора направляются во вторую мерную колонку 14. Давление на выходе гидромотора контролируется манометром 5.(2). Крутящий момент нагрузки гидромотора создается тормозом 15 за счет изменения усилия натяжения ленты регулировочным винтом.

Частота вращения вала гидромотора  $n_m$  изменяется настройкой дросселя 8 или регулятора расхода 10, контролируется датчиком скорости 16, состоящим из тахогенератора, электросхемы и прибора со шкалой для измерения частоты вращения вала гидромотора.

Расход жидкости и объемные потери гидромотора определяются объемным способом с помощью мерных колонок 11,14 и секундомера.

$$Q_i = \frac{60 \cdot V_i}{t_3} \quad (11)$$

где  $V_i$  - объем жидкости, заполняющий мерную колонку (для колонки 11 -  $V_1 = 2$  л, для колонки  $V_2 = 50 \div 100$  см<sup>3</sup>);  $t_3$ , - время заполнения  $V_1$  или  $V_2$ .

## 6 Методика проведения исследования

Эксперимент позволяет определить характеристики гидромотора при разных режимах нагружения, определяемых задаваемыми преподавателем значениями перепадов давления  $\Delta p_{Mi}$  на гидромоторе при фиксированной частоте вращения  $n_m$ .

### ***Для проведения эксперимента необходимо:***

1. Получить исходные данные для значений  $\Delta p_{Mi} \dots \Delta p_{M5}$  и  $n_m$ .
2. Нагружая гидромотор ленточным тормозом 15 (рис. 2), последовательно устанавливая перепады давлений  $\Delta p_{Mi}$  по



исходным данным в таблице и определить изменение скоростной характеристики  $n_m$ , утечку гидромотора  $Q_{yi}$  для двух вариантов гидропривода (с Г77-11 и Г55-21).

3. Выполнить расчет для  $M_{Hi}$ ,  $\eta_{oi}$ ,  $\eta_{mexi}$ ,  $\eta_{Эi}$ .
4. Построить совмещенные графики зависимостей от  $n_m=f(M_H)$  (для двух вариантов схем),  $Q_y=f(M_H)$ ,  $\eta_{Э}=(M_H)$ .
5. Выполнить анализ результатов эксперимента, сравнить полученные характеристики гидромотора с техническими (паспортными).
6. Сформулировать выводы, рекомендации, по улучшению характеристик гидромотора в исследуемом приводе.
7. Оформить и представить к защите отчет о выполненной работе.

Таблица 1  
Данные эксперимента и результаты их обработки

№ п/п	$\Delta p_m$ , МПа	$M_{Э}$ , Нм	$n_m$ , об/мин		$Q_{y_i}$ , см <sup>3</sup> /мин	$\eta_o$	$\eta_{mex}$	$\eta$
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
			Среднее значение КПД					



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2**

### **ОСНОВНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

#### **1 Цель работы**

Изучить основы функционирования, конструкцию, технические характеристики гидравлических элементов управления и распределения, их типоразмеры и схемотехнические возможности.

#### **2 Порядок выполнения работы**

- 2.1 Работа выполняется на стенде разборки элементов.
- 2.2 Приступая к работе, каждая подгруппа должна получить от преподавателя задание, включающее 5-элементов гидроавтоматики.
- 2.3 Ознакомиться с материалами настоящего руководства.
- 2.4 Выполнить последовательно разборку каждого элемента или изучить его схему, детально ознакомиться с устройством, материалами и качеством исполнения сопрягаемых поверхностей.
- 2.5 Сделать необходимые замеры основных геометрических параметров устройств.
- 2.6 Оформить отчет о выполненной работе и сдать работу преподавателю.
- 2.7 Произвести сборку предложенных гидроэлементов, привести в порядок рабочее место.

#### **В отчете указывается:**

1. Цель работы и задание.
2. Назначение, принцип действия каждого элемента.
3. Принципиальные конструктивные схемы элементов (Упрощенные, поясняющие принцип действия с обязательным указанием каналов подвода и отвода).
4. Символическое изображение по ЕСКД.
5. Основные геометрические и технические характеристики, расчетные зависимости.
6. Выводы по выполненной работе.



Гидравлический привод и системы гидроавтоматики являются перспективным средством автоматизации производственных процессов. Такие системы имеют ряд преимуществ и открывают большие возможности для создания машин с улучшенными характеристиками:

1. При передаче идентичной мощности гидромоторы более компактны (их габариты составляют 12+20% от габаритов гидродвигателя) они менее металлоемки, имеют более высокое быстродействие срабатывания.
2. Простота выполнения бесступенчатого регулирования скорости движения я реверсированного прямолинейного движения с плавным разгоном я торможением.
3. Автоматическая защита привода от перегрузки, простота сборки, монтажа, обслуживания.
4. Способность развивать больше статические усилия и крутящие моменты.

Из недостатков гидравлических систем следует отметить нарушение стабильного режима работы из-за нагрева рабочей жидкости в процессе работы, наличие утечки рабочей жидкости, невозможность соблюдения точных передаточных соотношений, например, в резьбонарезных цепях станков. Требуют серьезного изучения вопросы надежности и долговечности элементов гидропривода и гидроавтоматики.

### 3 Структура систем гидроавтоматики

В общем случае гидравлические системы состоят из следующих типовых устройств:

а) Устройства для преобразования одного вида энергии в другой-  
**объемная машина** (насосы, гидромоторы, силовые цилиндры).

#### б) Гидроаппаратура :

- 1) Регулирующие устройства для изменения параметров рабочей жидкости (давления и расхода), т.е. напорные золотники, предохранительные клапаны, редуционные клапаны, подпорные клапаны, реле давления, дроссели, регуляторы расхода;
- 2) устройства для изменения направления движения потока рабочей жидкости (различные распределители).



3. Приборы - устройства для контроля параметров потока рабочей жидкости (манометры, термометры, расходомеры, датчики температуры, датчики давления).
4. Емкости, гидроаккумуляторы - резервные накопители энергии.
5. Гидролинии - трубопроводы (жесткие и гибкие), обеспечивающие передачу энергии потока.
6. Кондиционеры - для стабилизации температуры рабочей жидкости.
7. Вспомогательные устройства (присоединения, уплотнения, фильтры, резервуары и т.д.).

### **в) Регулирующие устройства**

Предназначены для настройки и контроля величины давления, рас хода жидкости и как следствие - скорости перемещения, ускорения, тягового усилия или крутящего момента гидродвигателя. В результате обеспечивается наивыгоднейший режим работы системы гидроавтоматики. По признаку выполняемых функций такие устройства классифицируют как предохранительные и сливные, переливные и подпорные, редуцирующие и стабилизирующие давление, ограничивающие расход, автоматического воздействия.

Наиболее простыми устройствами являются клапаны шариковые (Рис.1, а), конусные (Рис.1,б), тарельчатые (Рис.1,в), плунжерные (Рис.2). Это так называемые клапаны прямого действия, ибо в них клапан является и чувствительным и исполнительным элементом. Он реагирует на повышение давления и, смещаясь, сбрасывает избыточный объем на слив.

Однако такие схемы имеют существенные недостатки, особенно при регулировании высоких давлений и расходов: большая масса клапана, значительные габариты пружины, низкая чувствительность, пульсация давления.



## Напорный золотник типа Г54-1

Напорный золотник (Рис.2) является характерным примером клапана прямого действия плунжерного типа. Это многофункциональное устройство, позволяющее предохранять систему от перегрузки, поддерживать постоянное, ограниченное по максимальной величине давление, обеспечивать требуемое подпорное давление, например, исключать самопроизвольное опускание поршня при вертикальном расположении цилиндра.

Напорный золотник типа Г54-1 можно использовать и как распределитель с управляющим воздействием по давлению. Положен между полостью 10 и торцом плунжера 2 (Рис.2). Диаметр плунжера значительно меньше диаметра золотника, поэтому такую конструкцию применяют для средних давлений до  $P = 64 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , так как усилие, воспринимаемое пружиной меньше, меньшими получаются и её размеры.

Для дистанционного управления напорными золотниками каналы, сообщающие полости 6 и 10 разъединяются поворотом крышки 4 на  $90^\circ$  и в её отверстие вместо пробки. К  $1/8$  ввинчивается штуцер для подвода управляющего давления.

На Рис.3 (а, б, в, г) представлены некоторые примеры применения напорных золотников.

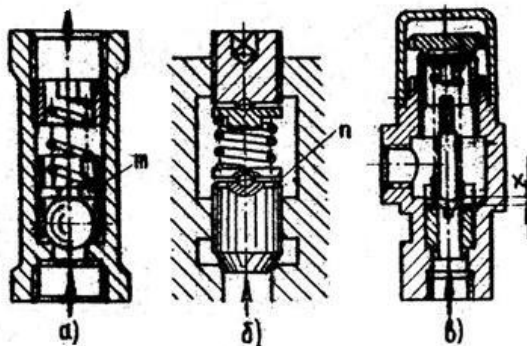


Рис.4



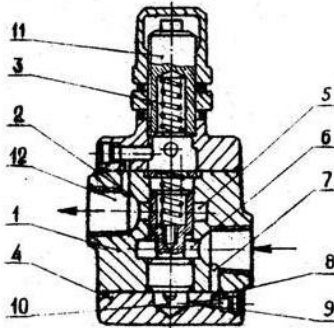


Рис. 2

## I. Предохранительный клапан с переливным золотником типа Г52-1

При больших давлениях и расходах применяют клапаны прямого действия (дифференциальные).

В таких устройствах предохранительный клапан, чаще шариковый (Рис. 1,а), выполняет функцию чувствительного элемента, а переливной золотник - исполнительного. Постоянство давления обеспечивается взаимодействием этих устройств.

Предохранительный клапан с переливным золотником Рис.4 позволяет защищать систему от перегрузки, поддерживать определенное давление в системе, обеспечивать разгрузку системы от давления.

Рабочая жидкость подводится в полость 4, которая через отверстия 6 и 19 в корпусе 9 соединяется, с полостью А, через отверстие 3 с полостью В, через отверстия 6,19,7,17 с полостью С.

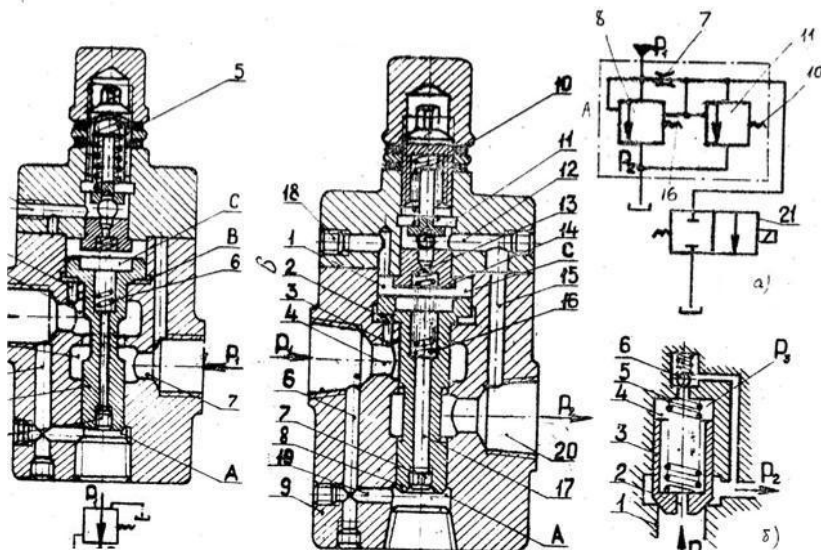


Рисунок 3 - Редукционный клапан

Срабатывает шариковый предохранительный клапан. Часть объема из полости С уходит на слив. - Под действием избыточного давления в полостях А,В золотник I приподнимается вверх. В результате: уменьшается площадь кольцевой щели "а". В полость В будет поступать меньший объем масла и давление на выходе будет снижаться до тех пор, пока давление в полости С не достигнет величины настройки пружины предохранительного клапана 5. Если давление на выходе упадет, то золотник под действием пружины 6 опустится вниз и, увеличив проходное сечение кольцевой щели "а", пропустит в полость 3 больший объем, компенсирующий падение давления на выходе;

Редукционный клапан в отличие от предохранительного реагирует и на повышение, и на уменьшение давления, стабилизируя его на выходе. При работе редукционного клапана через дренажное отверстие 3 в бак сливается объем рабочей жидкости, не превышающий  $Q=0.6$  л/мин. Клапан работает без шума и вибраций, благодаря наличию демпферов 4, 8,



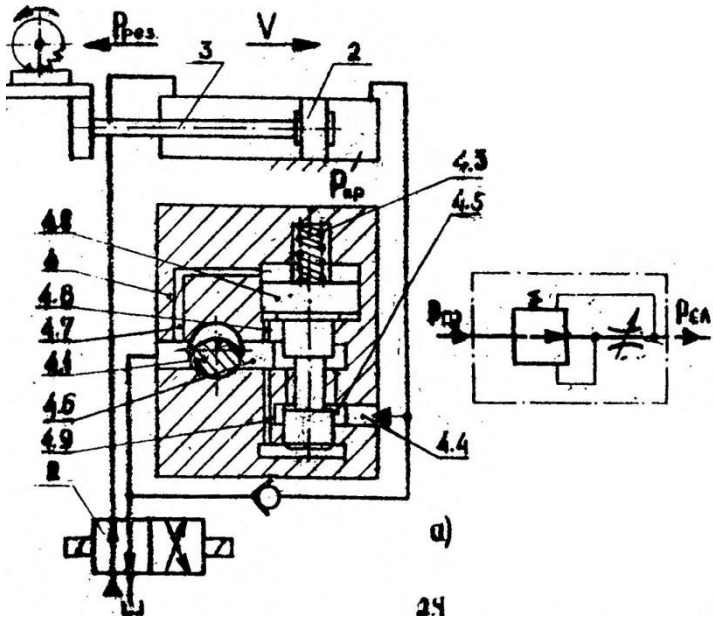
затормаживающих движение золотника I. Ступенчатая форма золотника обеспечивает необходимую, его чувствительность.

#### 4. Регулятор расхода.

Для регулирования расхода жидкости в системах гидроавтоматики применяют дроссели (винтовые, игольчатые, щелевые, комбинированные), регуляторы расхода, стабилизаторы расхода.

Важной задачей при таком способе регулирования является стабилизация расхода и скорости исполнительного органа, при изменяющейся нагрузке  $P_{рез}$  (Рис.6,а).

Регулятор расхода состоит из дросселя щелевого типа 4.1, и регулятора 4.2, расположенных в одном корпусе. Изменение расхода в требуемом диапазоне обеспечивается регулировкой дросселя.



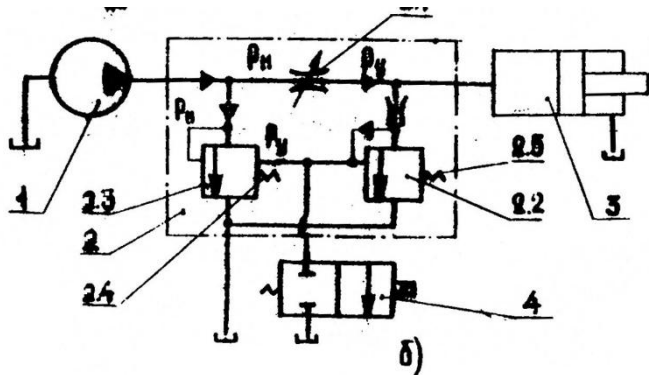


Рис. 6

При движении поршня 3 вправо жидкость из правой полости цилиндра поступает в полость 4.4 и через кольцевую щель 4.5, образованную клапаном и отверстием в корпусе 4, перетекает в полость 4.6, а далее через дроссель в распределитель 2 в бак. Одновременно из полости 4.6 по каналам 4.8 в 4.9 масло подводится к нижним торцам клапана 4.2, благодаря чему равновесие клапана создается гидравлической силой, направленной вверх, и пружиной 4.3, отжимающей клапан вниз (пружину тарируют на давление  $(2 - 3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2)$ ). При движении жидкости через кольцевую щель 4.5 между полостями 4.4 и 4.6 создается перепад давления. С увеличением противодействия  $P_{\text{пр}}$  в правой полости цилиндра, вызванного изменением нагрузки  $P_{\text{рез}}$ , мгновенно возрастает давление в полости 4.6, а также гидравлическая сила, действующая на клапан снизу.

Клапан 4.2 смещается вверх, уменьшается проходная щель 4.5, снижается давление в полости 4.6 до первоначального. Как только давление перед дросселем станет меньше уровня настройки пружины 3, клапан сместится вниз, увеличивая щель 4.5. Давление в полости 4.6 будет увеличиваться до тех пор, пока клапан 4.2 снова начнет перемещаться вверх, уменьшая кольцевую щель 4.5 и стабилизируя давление перед дросселем.

Таким образом, в процессе работы регулятор 4.2, автоматически устанавливаясь, поддерживает постоянное низкое давление перед дросселем независимо от величины противодействия в цилиндре 3. Благодаря каналу 4.7 давление



после дросселя и над клапаном I постоянно и имеет величину, близкую к атмосферному. В результате перепад давления на дросселе стабилизируется независимо от  $P_{пр}$ , что обеспечивает при одной настройке дросселя постоянный расход.

Расход масла через дроссель существенно зависит от температуры рабочей среды.

Однако при изменении температуры масла от 15°C до 50°C изменение расхода через регулятор не должно превышать 15% от расхода, установленного для холодного масла. Это достигается применением проходных сечений типа диафрагмы и толщиной стенки в направлении потока 0,2 - 0,8 мм.

Дроссель типа Г55-3 предназначен для стыкового присоединения.

## **II. Дроссель с предохранительным клапаном и переливным золотником**

Такие устройства довольно часто применяют в системах гидроавтоматики.

Три аппарата - дроссель 2.1, предохранительный клапан 2.2, переливной золотник 2.8, выполненные в одном корпусе, обеспечивают равномерную подачу и предохранение системы от перегрузки. Кроме того, аппарат позволяет разгружать насос и систему от давления при включенном распределителе 4.

Преимуществом регулятора расхода типа Г55-1 является также наличие автоматического приспособления для регулирования режима работы силового органа давления  $P_n$ , развиваемого насосом, т.е. более высокий К.П.Д. системы.

Жидкость от насоса I подводится к переливному золотнику 2.3 далее через дроссель 2.1 к цилиндру 3. Избыточный объем жидкости, подаваемый насосом I отводится через переливной золотник в бак. Клапан переливного золотника 2.3 (Рис.6,б) находится с одной стороны (слева) под действием давления, развиваемого насосом  $P_n$ , а с другой - под действием пружины 2.4 давления в рабочей полости цилиндра  $P_y$ .

Уравнение равновесия сил, действующих на клапан 2.3 :

$$P_n \frac{\pi D^2}{4} = P_y \frac{\pi D^2}{4} + G$$



$$\text{Откуда } P_n - P_y = \frac{4G}{\pi D^2} = \text{const} = (1.5 \div 2)10^5 \text{ Н/м}^2$$

где  $P_n$  - рабочее давление насоса ;  $\text{н/м}^2$

$P$  - давление в цилиндре ,  $\text{н/м}^2$  ;

$G$  - усилие пружины 2.4 ;  $\text{Н}$  ;

$D$  - диаметр клапана 2.8 (наибольший),  $\text{м}$ ;

Из уравнения (2) видно, что давление на дросселе, а, следовательно, и расход через него - величина постоянная.

При всех изменениях давления  $P_y$ , связанных с изменением нагрузки на силовом органе, клапан 2.8 автоматически уменьшает или повышает давление  $P_n$  путём дросселирования избыточного объема в бак.

С увеличением давления  $P_y$ , вследствие увеличения нагрузки, равновесие сил, действующих на клапан 2.3 нарушается.

Последний, смещаясь влево (см. на схеме) уменьшает объём жидкости, уходящей на слив от насоса, и увеличивает давление  $P_n$ , стабилизируя перепад давления на дросселе.

Если давление  $P_y$  возрастает значительно и становится больше уровня настройки, пружины 2.5 шарикового предохранительного клапана 2.2 он открывается и сбрасывает на слив жидкость из полости между клапанами 2.3 и 2.2 (за дросселем).

Равновесие клапана 2.3 нарушается, он смещается вправо ( см. на схеме), уменьшая давление  $P_n$  насоса. Максимальная величина давления в системе определяется усилием настройки пружины. Системы дросселя с регулятором Г55-1 более экономны, чем дросселя о регулятором типе Г55-2.

#### **д) Реле давления**

Реле давления применяется при электрогидравлическом автоматическом управлении для передачи сигналов на расстояние. При этом осуществляются контроль рабочего давления или автоматические переключения в системе. Конструктивная схема типового реле Г62-21 представлена на рис.7. Масло подводится к камере I. Герметичность камеры обеспечивается круглой мембраной 2, закрепленной по периферии кольцом 3. При повышении давления  $P_1$  в системе



мембрана, нагруженная пружиной 4, прогибается вверх, поворачивая рычаг 5 против часовой стрелки. Правый его конец воздействует винтом 6 на электро-переключатель 7. При этом замыкаются или размыкаются соответствующие контакты цепи управления, обеспечивающие отключение насоса, подачу звукового, светового сигнала и другие команды. Настройка реле осуществляется регулировкой пружины 4 винтом 8. Подобные реле выпускаются для давлений до  $200 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>. Нечувствительность реле (перепад давления включения и выключения зависит от рабочего давления и при  $P_{\max} = 200 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> не превышает  $10 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Применяют также реле давления поршневого типа, причём их часто совмещают с предохранительным клапаном.

### е) Реле времени

Реле времени предназначено для создания некоторой выдержки времени (запаздывания) между последовательными фазами движения отдельных элементов системы (Рис.8).

Заданный интервал времени выдержки определяется временем истечения или заполнения жидкостью специального цилиндра, поршень которого в крайнем положении обеспечивает сигнал управления.

Положение плунжера 2 реле соответствует выполнению рабочей операции. В этом положении полость цилиндра 6 через канал в плунжере и обратный клапан 5 соединяется с рабочей магистралью, поршень 7 поднимается вверх до упора, реле заряжается. После окончания рабочей операции давление в системе повышается (суппорт станка приходит на упор). Под действием плунжера 3 золотник 2 смещается влево, сжимая пружину I, и сообщая полость 6 через канал II со сливом. Поршень 7 под действием пружины перемещается вниз, вытесняя масло через дроссель 4 на слив. Происходит разрядка реле. Время задержки определяется регулировкой дросселя 4. В конце хода планка 9, переключая электроконтактное устройство 10, осуществляет отключение или реверс системы. Время задержки определяется уравнением:



$$t_3 = \frac{\pi \sqrt{\pi \cdot d^3 \cdot H}}{8 \mu \cdot f_{др} \cdot G_{пр}} \text{ сек (3)}$$

где  $d$ ,  $H$  - соответственно диаметр и ход поршня цилиндра (м);  $\mu$ ,  $f_{др}$  - коэффициент расхода и площадь открытия дросселя (м<sup>2</sup>);  $G_{пр}$  - усилие пружины (Н);

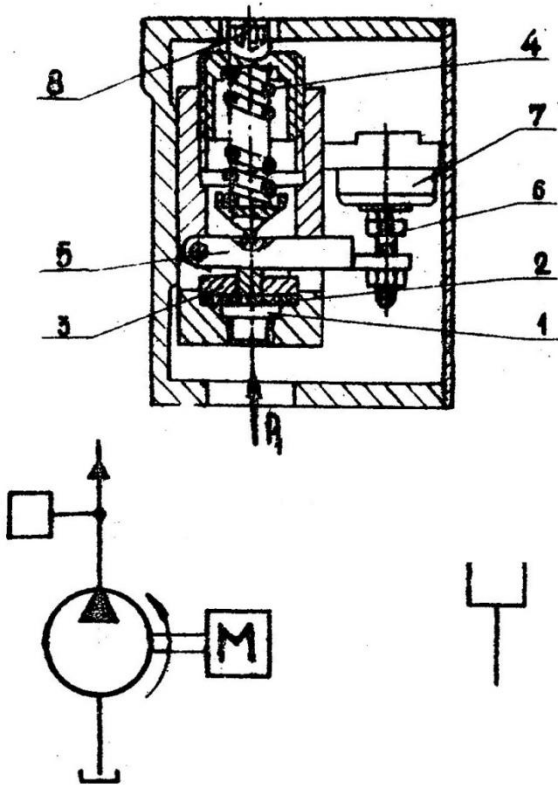


Рис. 7





### III. Распределительные устройства

Распределительные устройства предназначены для распределения рабочей жидкости между участками и элементами системы гидроавтоматики и её отвода.

По конструктивному признаку различают устройства золотникового и не золотникового типа. Первую группу можно классифицировать как золотниковые, крановые клапанные распределители.

К распределителям не золотникового типа относят устройства со струйной трубкой типа "сопло-заслонка".

Наибольшее применение получили распределители золотникового типа. Распределители широко применяют в качестве управляющих устройств в следящем гидроприводе.

Классифицируют распределители также по способу управления и по количеству позиции - количеству фиксированных положений распределительного элемента.

В золотниковых распределителях распределительный элемент - плунжер I с кольцевыми канавками поясками в корпусе 2 имеет прямолинейное перемещение во втулке с окнами для подвода и отвода жидкости (Рис.9).

В крановых распределителях распределение жидкости осуществляется путём поворота пробки крана. В таблице приведены основные типы распределителей с различным числом позиций и линий (ходов). Число позиций распределителя - это число вариантов соединения каналов внутри корпуса (двух-трех, многопозиционные распределители). Число линий - это количество подводящих и отводящих каналов в корпусе распределителя (двух линейные Г74-3, четырех - линейные Г72-4)



Устройство гидрооборудования

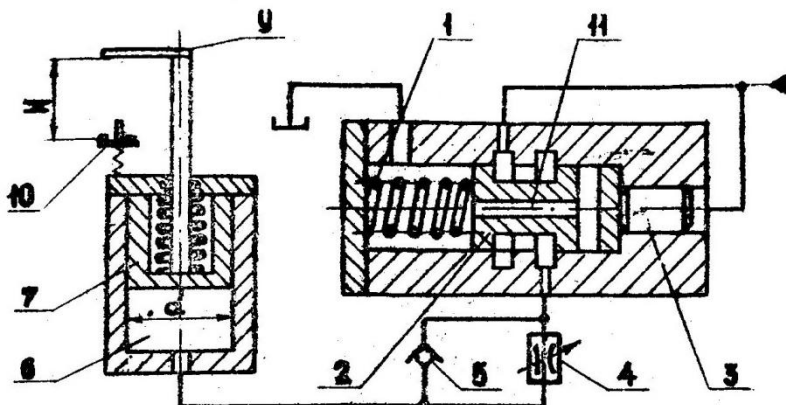


Рис. 8

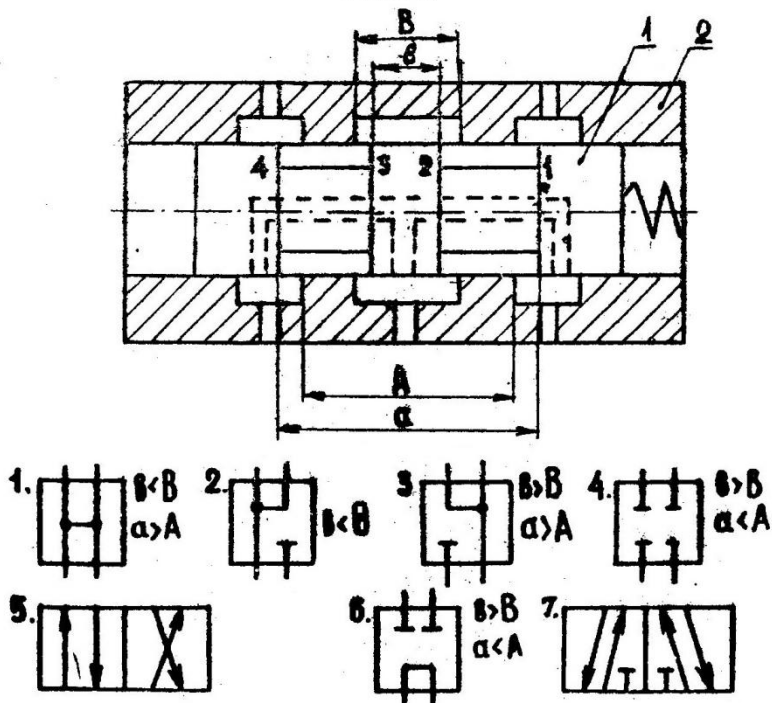


Рис. 9



Таблица

ТИП РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ	СИМВОЛИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ	Q л/мин	$P \cdot 10^5$ Н/м <sup>2</sup>	$\Delta P \cdot 10^5$ Н/м <sup>2</sup>
Гидравлическое управление Г72-4		8-500	до 50	1,5÷2
УПРАВЛЕНИЕ ОТ КУЛАЧКА Г74-3		35-70	50	1,5÷2,5
УПРАВЛЕНИЕ ОТ КУЛАЧКА Г74-2		8 и 18	50	2
С ЭЛЕКТРОУПРАВЛЕНИЕМ Г73-2		8 и 18	до 200	2
С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ Г71-2		8	50	1,5÷2,5
С ЭЛЕКТРОУПРАВЛЕНИЕМ Г73-1		70	до 125	2,5÷4
С ЭЛЕКТРО- ГИДРАВЛИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ Г73-3		70, 280	125	2,5÷4
С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ Г74-1, Г74-4		18, 140	80	2÷3



Распределители могут быть прямого и непрямого действия. В распределителях прямого действия управляющий внешний сигнал действует непосредственно на распределительный элемент, в распределителях непрямого действия управляющий сигнал действует через дополнительное специальное устройство (сервоустройство).

Выбор типа распределителя определяется средним положением плунжера относительно рабочих окон.

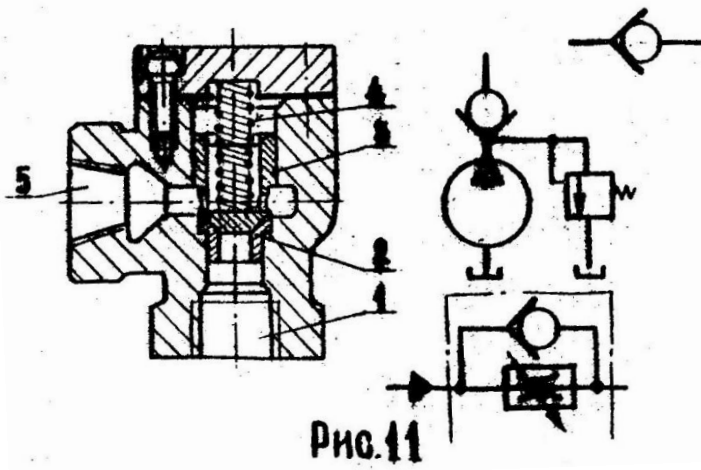
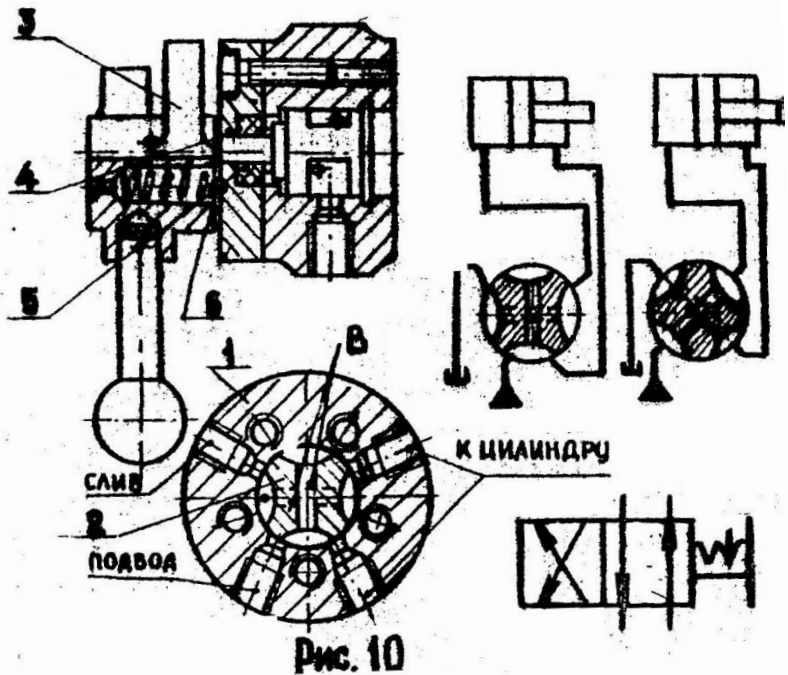
В связи с этим распределители могут быть:

- а) С открытым центром и сливом;
- б) С закрытым центром и сливом;
- в) С закрытым центром и открытым сливом;
- г) С открытым центром и открытым сливом.

В трехпозиционных распределителях применяются также схемы, в которых сливной канал используется как дренажный для отвода утечек при среднем положении плунжера.

#### **IV. Кран управления**

На Рис.10 представлен крановый распределитель двухпозиционный, 4-линейный типа Г71-2. Внутри корпуса 1, имеющего 4 выходных отверстия с минимальным радиальным зазором, расположена пробка крана 2. Пробка крана имеет 4 выемки и два перпендикулярных сквозных канала В, расположенных в разных плоскостях. Корпус крана закрывается крышкой 4 с уплотнением 5. От кулачков, закрепленных на подвижной части стола или суппорта, производится автоматический поворот рукоятки 8 и пробки крана 2. Переключение может осуществляться вручную. При переключении изменяется направление потока жидкости через распределитель. Крайние положения крана





Фиксируются шариковым фиксатором 6. Краны управления трех типов выпускает Ленинградский завод Станко принадлежностей. Они отличаются лишь способом крепления:

Г71-21 – для внутреннего крепления

БГ71-21 – для наружного крепления

БГ71-22 – для крепления на угольнике.

На корпусе крана I промаркированы камеры отвода и подвода.

## V. Обратный клапан

Этот аппарат является примером клапанного распределителя. В таких устройствах распределение жидкости осуществляется последовательным открытием и перекрытием расходных окон клапана различной конструкции (шариковых, тарельчатых, конусных).

Устройства предельно просты по конструкции, имеют высокую герметичность и быстродействие срабатывания.

Типовая конструкция устройства показана на Рис.11. Конический клапан 3 с малым радиальным зазором расположен в расточке корпуса и пружиной 4 прижимается к седлу 2. Обратный клапан пропускает жидкость только в одном направлении ( из канала 1 в 5) отверстия 6, выполненные в клапане, отводят утечку из под него верхнего торца.

## VI. Распределители с гидравлическим управлением

Распределители типа Г72-1 выполняются, как правило, двухпозиционными (Рис.12,а). Плунжер золотника 2 расположен в корпусе 1 с расточками. В крышках распределителя, закрывающих корпус с торцов, расположены дроссели 3,4, шунтированные обратными клапанами 5,6. При подаче управляющего сигнала Ру, рабочая жидкость из управляющей магистрали через обратный клапан поступает в левую полость золотника, перемещая его в правое положение, Время переключения определяется настройкой дросселя 4 через который жидкость сливается из-под правого торца. Это исключает возможность возникновения гидравлического удара в системе при переключении и удары плунжера о крышки корпуса,



**VII. Распределители с электрогидравлическим управлением.**

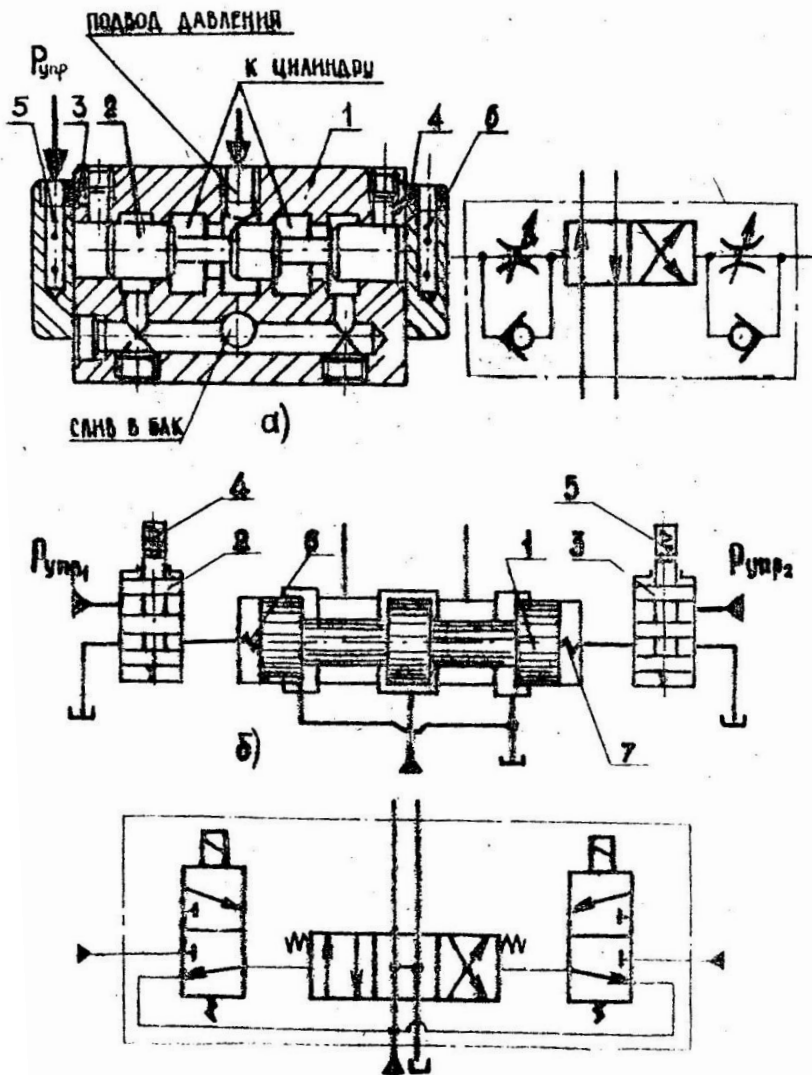


Рис. 12



В распределителях типа Г73-3 (Рис.12,б) основной золотник I управляется двумя вспомогательными 2 и 8, управляемыми электромагнитами 4 и 5. При подаче электрического сигнала на электромагнит 4, он перемещает вниз золотник 2, отжимая пружину. Масло из линии управления поступает в левую торцевую полость золотника I, перемещая его вправо. Управляющие сигналы на электромагниты 4 и 5 подаются поочередно от конечных электровыключателей. При отсутствии сигналов золотники 2 и 3 под действием пружин занимают крайнее верхнее положение, соединяя торцевые полости золотника I со сливом. Пружины 6 и 7 устанавливает главный золотник в среднее положение. В трех позициях основного золотника I и осуществляется управление основным потоком, подводимым к гидродвигателю. Более детальное изучение распределителей приведенных и других типов следует провести по источнику (4).

### **VIII. Символические изображения элементов гидропневмоавтоматики**

Символика обозначений элементов гидропривода и ГПА представлена

следующими ГОСТами ВСКД:

ГОСТ 2.780-68 трубопроводы ;

ГОСТ 2.781-68 аппаратура регулирования, управления ;

ГОСТ 2.782-68 насосы, гидромоторы, цилиндры;

ГОСТ 2,704-66 правила составления схем гидроприводов,-

Принятая символика близка к международной, является единой и обязательной, но по сравнению с ранее известными требует более квалифицированной подготовки при анализе и чтении различных схем.

Вопросы терминологии систем ГПА изложены в ГОСТ 17752-72.

Изучение принципов построения символических изображений элементов является частью задачи настоящей работы.





## **4 Контрольные вопросы**

- 4.1 Типы устройства систем гидропневмоавтоматики.
- 4.2 Типы и назначение регулирующих устройств гидропривода.
- 4.3 Принцип работы и устройство напорного золотника типа Г54-1.
- 4.4 Назначение и принцип работы регуляторов расхода.
- 4.5 Назначение, устройство, принцип работы реле давления, времени.
- 4.6 Типы распределительных устройств, их назначение.
- 4.7 Принцип построения числа позиций и ходов распределителей.
- 4.8 Виды управления и подключения распределителя в гидропривод

## **5 Порядок разборки гидроаппаратуры**

- 5.1 Для разборки элемента необходимо иметь исправный инструмент,
- 5.2 Перед разборкой необходимо изучить устройство элемента и установить порядок разборки.
- 5.3 Разборку элемента производить на специальном стенде,
- 5.4 Сборку элемента следует производить в нужной последовательности без перекосов сопрягаемых поверхностей.
- 5.5 После окончания работы привести в порядок рабочее место, отдать инструмент.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ИСПЫТАНИЕ НАПОРНОГО ГИДРОКЛАПАНА НГ16-50-16(108.00.000В)

#### 1 Цель работы

1.1 Оценка качества работы гидропневмоаппаратов на примере напорного гидроклапана НГ16-50-16(108.00.000В). 1.2 Ознакомление с техническими требованиями на клапан, правилами приёмосдаточных испытаний клапана и методами контроля параметров, способами транспортирования и хранения, рекомендациями по применению (эксплуатации).

#### 2 Общий порядок выполнения работы

2.1 Ознакомиться с техническими условиями на напорный гидроклапан НГ 16-50-16(108.00.000).

2.2 Ознакомиться с конструкцией экспериментального стенда методикой проведения приемо-сдаточных испытаний клапана.

2.3.Экспериментально определить характеристики клапана.

2.4.Обработать результаты исследования, построить график, сделать выводы.

2.5.Оформить и защитить отчёт.

#### 3 Методы испытаний

Испытания гидроприводов и гидроаппаратов - основной метод определения их технических возможностей с целью установления показателей надёжности.

В зависимости от цели, испытания разделяют на контрольные, исследовательские и на надёжность. По срокам - ускоренные и неускоренные. По методу - разрушающие и неразрушающие.

**Испытания на надёжность** — наиболее трудоёмки так как связаны со значительными затратами времени и средств и должны учитывать широкий диапазон режимов и условий работы (2).

**Исследовательские испытания** - предшествуют всем другим испытаниям. Их главная цель - изучение и анализ происходящих в гидроаппаратуре явлений и процессов,



определение характеристик и изучение факторов, влияющих на надёжность.

**Контрольные испытания** проводят для контроля качества продукции. К ним относятся предварительные, межведомственные или государственные, приемо-сдаточные, периодические и типовые испытания.

**Приемо - сдаточные испытания**—осуществляет изготовитель при приемо - сдаточном контроле, которые проходит каждый гидроаппарат серийного производства. При контроле проверяют соответствие гидроаппаратов техническим условиям и оформляют технический паспорт.

Для напорных гидроклапанов ГОСТом 20245—74 при приёмосдаточных испытаниях предусмотрены следующие критерии оценки надёжности: функционирование, наружная и внутренняя герметичность, плавность регулирования, диапазон настройки, давление разгрузки, время нарастания давления после прекращения разгрузки, масса, изменение давления настройки от расхода.

#### 4 Технические требования

ТУ 23.2.1954—88 распространяются на напорные гидроклапаны НГ16-50-16 предназначенные для ограничения давления в подводимом потоке рабочей жидкости.

НГ 16-50-16 должен соответствовать требованиям ТУ, комплекта документации согласно 108.00.000В, ГОСТ 16517—82, ГОСТ 17411—81.

Основные параметры приведены в таблице.



## 5 Транспортировка и хранение НГ16-50-16

Транспортировка может осуществляться автотранспортом, железнодорожным, воздушным транспортом, речными и морскими судами. При этом использовать при перевозке автотранспортом «Общие правила перевозки автотранспортом»; железнодорожным транспортом «Технические условия погрузки и крепления грузов»; воздушным транспортом «Руководство по грузовым перевозкам на внутренних линиях РФ»; речным транспортом «Правила перевозки грузов»; морским транспортом «Правила безопасной перевозки генеральных грузов».

Допускается транспортировка клапанов, до ввода в эксплуатацию. при любых условиях предусмотренных ГОСТ 15150—69 (в части воздействия климатических факторов внешней среды) и ГОСТ 23170—78 (в части механических воздействий). Условия хранения клапанов до ввода в эксплуатацию по ГОСТ15150—69.

Таблица 1

Наименование параметра	Величина параметра (норма)	Обозначение стандарта устанавливающего величину параметра
Давление на входе		
Номинальное	16	ГОСТ 12445-80
Максимальное	20	***
Максимальное давление разгрузки, МПа	0,4	***
Диапазон регулирования давления, МПа	0,4	
Расход рабочей жидкости л/мин		
Номинальный		
Максимальный	63	***
Минимальный	10	***
Внутренняя герметичность, л/мин (Максимальные внутренние	1,5	



утечки)5		
Максимальное превышение давления настройки при мгновенном возрастании давления, МПа	2	
Время нарастания давления после прекращения разгрузки, с, не более	0,1	
Изменение давления настройках от расхода $P=f(Q)$ при изменении от $Q_{\text{мин}}$ до $Q_{\text{ном}}$ , МПа, не более	1	
Масса, кг	1,9	

## 6 Указания по эксплуатации (применению)

Для установки в гидросистему необходимо:

а) снять заглушки с клапана, слить остатки консервационной

смазки, убедиться в чистоте каналов клапана;

б) установить клапан на подготовленное место монтажа и подсоединить трубопроводы согласно гидравлической схеме.

Температура рабочей жидкости при эксплуатации должна быть не выше плюс 80°C и не ниже минус 5°C.

Температура окружающей среды при эксплуатации клапанов должна быть:

а) для клапанов исполнения «У» — не ниже минус 40°C и не выше

б) для клапанов исполнения «Т» — не ниже минус 10°C и не выше плюс 45°C.

Монтаж и эксплуатация клапанов должны производиться персоналом, ознакомленным с ТУ23.2Л954—88, при соблюдении правил техники безопасности.



## **7 Правила приёмки и методы контроля НГ16-50-16**

Контроль качества изготовления и сборки всех деталей клапана согласно ТУ и требованиям чертежей должен осуществляться в порядке выполнения контрольных операций, являющихся частью технологического процесса. При окончательной приёмке должен производиться внешний осмотр клапана.

Клапаны должны подвергаться контрольным испытаниям, а именно: приемо-сдаточным, периодическим и типовым. Контроль параметров согласно ГОСТ 20245—74, дополнительно определяются: максимальное превышение давление настройки при мгновенном возрастании давления, время нарастания давления после прекращения разгрузки.

## **8 Правила проведения приемо-сдаточных испытаний НГ 16-50-16**

Рабочая жидкость - масла минеральные с вязкостью при испытании равной 3(Н35 мм /с. Класс чистоты рабочей жидкости должен быть не грубее 15-1V-16 по ГОСТ23.1.157—86. Номинальная тонкость фильтрации-25мкм.

Испытательные стенды и требования безопасности при испытаниях должны соответствовать ГОСТ12.2,040—79, ГОСТ12.2.086—83 и должны быть аттестованы.

Погрешность измерения параметров должна соответствовать 2 группе точности по ГОСТ17108 - 86.

- а) функционирование 4%;
- б) наружная герметичность 1%;
- в) внутренняя герметичность 4%;
- г) изменение давления настройки от расхода 4%



## **9 Методика проведения приемо-сдаточных испытаний**

При проверке функционирования должны проверяться: регулирование давления, давление разгрузки, плавность регулирования и диапазон настройки.

Вращением регулировочного винта клапана изменять давление от 8 до 20 МПа (слив из канала управления должен быть закрыт), при этом давление должно плавно, без скачков возрастать и уменьшаться, не должно возникать автоколебаний.

Испытание необходимо провести 3-х, 5-ти кратным увеличением и уменьшением давления.

Настроить клапан на давление ( $16 \pm 1$  МПа) 3-х кратным открытием и закрытием канала управления перевести клапан из режима предохранения в режим разгрузки. Срабатывание клапана должно быть быстрым (без запаздывания) и чётким, при этом давление разгрузки не должно превышать 0,4 МПа (при свободном сливе из канала управления).

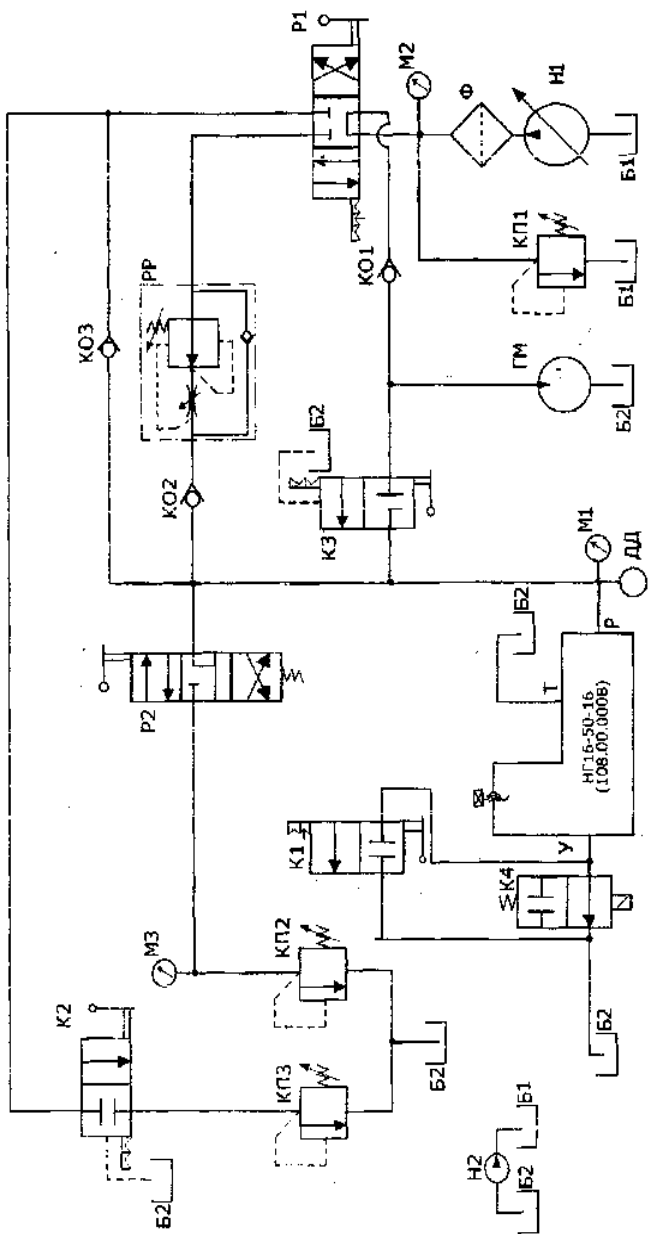
Проверить наружную герметичность необходимо проверять подводом давления ( $24 \pm 2$  МПа) на вход клапана. Остальные отверстия заглушить. Продолжительность испытания не менее 3-х минут.



## Устройство гидрооборудования



## Устройство гидрооборудования





При этом потение наружных поверхностей, течь по резьбам и стыкам не допускается.

Проверка внутренней герметичности должна проводиться при давлении настройки клапана ( $16 \pm 1$  МПа) и давлению на входе ( $14 \pm 1$  МПа). Величина суммарных утечек должна проверяться на сливном отверстии клапана. Канал управления заглушить.

Утечки измерять не менее чем через 30 секунд после установления заданного давления. Измерения проводить в течение 60 секунд. Максимально допустимая величина суммарных утечек-1.5 л/мин.

Для определения динамических характеристик напорного клапана, предварительно измерительная система тарируется с использованием грузопоршневого манометра.

Измерительная система устанавливается на стенд.

Переключение режима производится включением клапана КЗ (рис.).

Дать объяснение и анализ полученных данных и привести заключение о пригодности данного клапана к эксплуатации.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ТИПА РЭГ50-3

### 1 Цель работы

1.1 Изучение устройства и принципа действия гидрораспределителя с электромагнитным управлением типа РЭГ 50-3.

1.2 Проведение приёмосдаточных испытаний, технического обслуживания и ремонта гидрораспределителя.

### 2 Устройство и принцип действия

Устройство и обозначение основных элементов гидрораспределителя с электрогидравлическим управлением показаны на рис.1

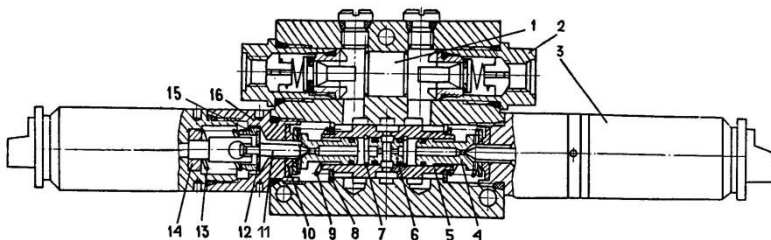


Рисунок 1- Гидрораспределитель РЭГ 50-3.

Принцип действия этого распределителя заключается в следующем. На электромагнит 3 напряжение (24V). При этом, под действием электромагнитного поля сердечник электромагнита втягивается, и игла 11 открывает отверстие в седле 4. В результате появляется расход жидкости через дроссельное отверстие втулки 6 золотника 5

На дросселе происходит падение давления и под действием разности давлений золотник 5 смещается и соединяет



один канал потребителя с полостью нагнетания, а другой – со сливом.

После отключения питания электромагнита 3, игла 11 закрывает отверстие седла 4, поток жидкости через дроссельное отверстие втулки 6 прекращается, давление выравнивается, и золотник 5 под действием центрирующих пружин возвращается в нейтральное положение.

Управляемые обратные клапаны (гидрозамки) 2 запирают рабочую жидкость в каналах потребителя для предотвращения самопроизвольного движения рабочих органов. При включении гидрораспределителя один из гидрозамков открывается под действием давления рабочей жидкости, а противоположный открывается поршнем 1.

### **3 Технические характеристики гидрораспределителя с электрогидравлическим управлением типа РЭГ 50-3**

Гидрораспределители с электрогидравлическим управлением типа РЭГ 50-3 должны соответствовать требованиям ТУ 23.3.1953-88 согласно ГОСТ 16517-82, ГОСТ 17411-91.

Тип распределителя: направляющий, секционный с электрогидравлическим управлением.

Основные параметры распределителя приведены в табл.

2.1.

№ п/п	Наименование параметра	Величина параметра
1	Условный проход, мм	12
2	Давление на входе, МПа Номинальное Максимальное Минимальное	16 20 2
3	Максимально допустимое давление на выходе (сливе), МПа	1
4	Давление управления, МПа Максимальное Минимальное	20 2
5	Расход рабочей жидкости, л/мин Номинальный	50



	Максимальный	63
6	Объём камеры управления, см <sup>3</sup> , не более	3
7	Максимальная продолжительность включения одного электромагнита при ПВ40%, $P_{ном}$ и $Q_{ном}$ , с, не более	15
8	Внутренняя герметичность (максимальные внутренние утечки в сопряжении «золотник-корпус» при номинальном давлении) см <sup>3</sup> /мин.	60
9	Время срабатывания, при $P_{ном}$ и $Q_{ном}$ , с, не более	0,5
10	Максимальное число срабатываний, циклов в час.	1000
11	Перепад давлений на золотнике рабочих секций (на входе-выходе к гидрораспределителю, прямой или обратный проход жидкости) при номинальном расходе, МПа, не более	0,5
12	Перепад давлений на гидрозамке рабочих секций (на входе-выходе к гидрораспределителю, прямой или обратный проход жидкости) при номинальном расходе, МПа, не более	0,4
13	Утечки через закрытый запорный клапан гидрозамка	Не допускаются
14	Род электрического тока управления	Постоянный
15	Мощность, потребляемая одним электромагнитом, Вт, номинальная	56,3
16	Напряжение электрического тока, номинальное, В	24
17	Масса без рабочей жидкости, кг, не более	26
18	Удельная масса (кг/МПа×л/мин)	0,033
19	Максимальное число рабочих секций шт.	6
20	Габаритные размеры, мм, не более	370×330×140



21	Гамма-процентный технический ресурс, при $\gamma=95\%$ , моточасов (циклов на рабочую секцию)	3000 (20000)
22	Средняя наработка на отказ, моточасов	$4,5 \times 10^4$
23	Установленный срок службы, лет	10
24	Характеристика рабочей жидкости:	
24.1	Кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$	
24.1	Минимальная	6
24.1	Номинальная	$30 \div 35$
24.1	Максимальная	800
24.2	Температура рабочей жидкости, $^{\circ}\text{C}$	
24.2	Минимальная	-5
24.2	Максимальная	+80
24.3	Номинальная тонкость фильтрации, $\mu\text{м}$	25
24.4	Чистота рабочей жидкости не ниже 15 класса по ГОСТ 17216-71	
25	Температура окружающей среды $^{\circ}\text{C}$	
25	Минимальная	-40
25	Максимальная	+45

#### 4 Правила проведения приёмо-сдаточных испытаний

Приёмо-сдаточные испытания проводятся заводом изготовителем, с целью проверки всех параметров изделия на соответствие техническим условиям.

Приёмо-сдаточным испытаниям должен подвергаться каждый распределитель.

При приёмо-сдаточных испытаниях должны быть проверены:

- 1) Функционирование;
- 2) Наружная герметичность;
- 3) Внутренняя герметичность.

При проведении испытаний необходимо выполнять следующие условия:

- вязкость рабочей жидкости должна быть равной от  $30 \div 35 \text{ мм}^2/\text{с}$
- класс чистоты рабочей жидкости не грубее 15-го класса



- номинальная тонкость фильтрации жидкости 25 мкм
- погрешность измерения параметров при испытании должна соответствовать 3-ей группе точности по ГОСТ 17108-86  
Проверка функционирования должна производиться в два этапа:  
1-ый этап – при минимальном давлении  
2-ой этап – при номинальном давлении  
Проверка наружной герметичности производится следующим образом:
- при поочерёдно смещённых в крайние позиции золотниках (включённых электромагнитах) и подводе жидкости под давлением  $(24 \pm 2)$  МПа на вход распределителя. Остальные отверстия (кроме выходного) должны быть заглушены.
- при нейтральной позиции золотников (выключенных электромагнитах) и одновременном подводе жидкости под давлением  $(2,0 \pm 0,2)$  МПа к входному и выходному отверстиям распределителя. Остальные отверстия должны быть заглушены.  
Время испытания в каждой позиции золотников не менее 30 сек., при этом потение наружных поверхностей, течь по резьбам и стыкам не допускаются.  
При проверке внутренней герметичности определяются суммарные утечки:
- в сопряжении «золотник-корпус», «золотник-седло», «седло-игла» в нейтральной позиции золотников (при выключенных электромагнитах)
- в сопряжении «золотник-корпус», «поршень-корпус», «седло-золотник», «седло-игла» при золотниках смещённых в крайние позиции (что соответствует включённым электромагнитам)
- в сопряжении «седло-игла»
- герметичность гидрозамков  
Величина утечек, выявленная при испытаниях на внутреннюю герметичность не должна превышать допустимых значений.

## 5 Испытательный стенд

Принципиальная гидравлическая схема стенда изображена на рис. 2 где:

ИР- испытуемый гидрораспределитель

Н- насос

КП1, КП2, КП3 предохранительные клапаны



Р1 четырехлинейный трехпозиционный распределитель с ручным управлением  
 КР1-КР8 крановые распределители  
 М1-М3 манометры  
 Ф- фильтр  
 КО1-КО3 обратные клапаны  
 При пуске станда, распределитель Р1 должен быть в среднем положении (0)

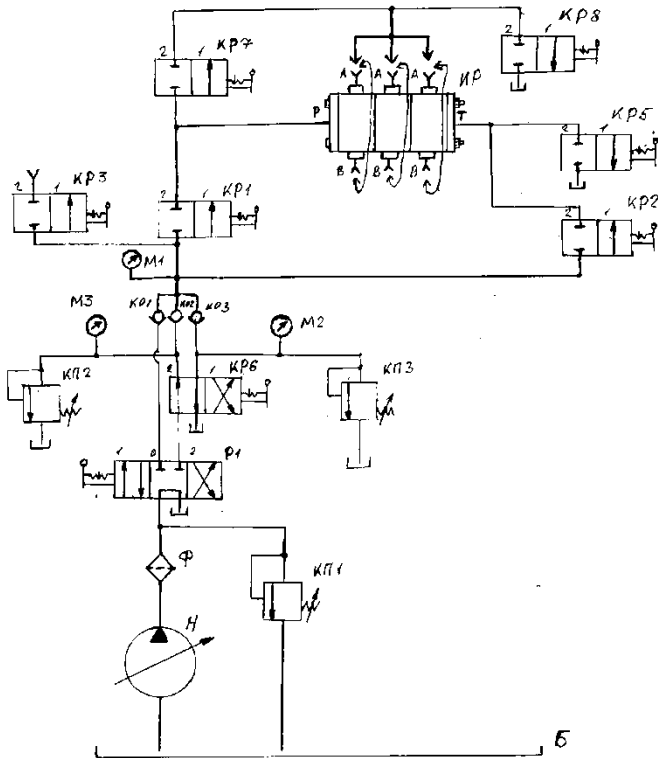


Рисунок 2 - Принципиальная гидравлическая схема станда

Принципиальная электрическая схема станда составляется студентом, где:  
 YA1, YA2 – электромагниты  
 SA1 – кнопка





## 6 Методика выполнения работы

### 6.1 Проведение приёмо-сдаточных испытаний.

#### 6.1.1 Проверка функционирования.

Проверка функционирования производится в два этапа:

1-й этап: при минимальном давлении

2-й этап при номинальном давлении

1-этап:

Переключить крановые распределители КР2, КР3, КР6, КР7, КР8 в положение «2», крановые распределители КР1, КР5- в положение «1».

Запустить стенд, переключить распределитель Р1 в положение «2».

Затем кнопкой SA1 произвести 3-5 кратное последовательное включение всех электромагнитов испытуемого распределителя.

Срабатывание распределителя оценивается визуально.

Закончив испытание, перевести распределитель Р1 в положение «0».

2-этап:

Переключить крановый распределитель КР6 в положение «1» и повторить все действия первого этапа испытаний.

#### 6.1.2 Проверка наружной герметичности.

Проверка наружной герметичности производится следующим образом:

а)- при поочерёдно смещённых в крайние позиции золотниках и подводе жидкости под давлением 24 МПа на вход распределителя. При этом все отверстия распределителя (кроме выходного) заглушаются. Крановые распределители КР2, КР3, КР7, КР8 переключить в положение «2», крановые распределители КР1, КР5- в положение «1».

Запустить стенд, переключить распределитель Р1 в положение «1».

Затем кнопкой SA1 произвести последовательное включение всех электромагнитов при этом потение наружных поверхностей, течь по резьбам и стыкам не допускается.



Закончив испытание, переключить распределитель Р1 в положение «0».

б)- при нейтральной позиции золотников и одновременном подводе жидкости под давлением 2 МПа к входному и выходному отверстиям.

При этом остальные отверстия заглушаются.

Крановые распределители КР3, КР5, КР7, КР8, КР6 переключить в положение «2», крановые распределители КР1, КР2- в положение «1».

Запустить стенд, переключить распределитель Р1 в положение «2» на время не менее 30 сек.

При этом потение наружных поверхностей, течь по резьбам и стыкам не допускается.

6.1.3 Проверка внутренней герметичности управляемых обратных клапанов (гидрозамков).

Проверка герметичности гидрозамков производится до установки их в корпус рабочих секций. Испытания проводятся подводом жидкости под давлением 16 МПа в надклапанную полость.

Проверка производится следующим образом:

Гидрозамки выкручиваются из рабочих секций и подключаются к нагнетательной гидролинии. Крановые распределители КР2, КР3, КР8 переключаются в позицию «2», КР1, КР5, КР7, КР6 переключаются в позицию «1».

Запустить стенд, переключить распределитель Р1 в положение «2» на время не менее 60 сек. При этом капельные утечки и подтекание жидкости в местах уплотнений гидрозамка не допускается.

После проведения испытаний сбросить давление переключив крановый распределитель КР1 в позицию «1» и установить гидрозамки в рабочие секции.



## 6.2 Техническое обслуживание

Техническое обслуживание гидрораспределителя с электрогидравлическим управлением заключается в периодическом внешнем осмотре на наличие наружных утечек. Проверяется надёжность крепления и при необходимости подтягиваются крепёжные элементы. Производится очистка от пыли и грязи. Проверяется состояние проводов, подводящих ток к распределителю и качество контакта в разъёмах.

Правильное и своевременное проведение Т.О., является гарантом надёжной работы распределителя.

6.3 Произвести анализ полученных результатов испытаний при наличии неисправностей и отказов, дать объяснение причинам, сделать заключение о пригодности гидрораспределителя к эксплуатации.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### ИСПЫТАНИЯ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С МУСКУЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ТИПА Р50-3

#### 1 Цель работы

- 1.1 Оценка качества работы гидрораспределителя типа Р50-3.
- 1.2 Ознакомление с техническими требованиями, методикой испытаний, устройством гидрораспределителя и испытательного оборудования.

#### 2 Устройство и принцип действия

Гидрораспределитель состоит из 5 секций, работающих на 5 потребителей: подъем/опускание жатки; включение/выключение молотилки; вынос мотовила; подъем/опускание мотовила; изменение частоты вращения мотовила. В корпусе 5 (см.рис.) гидрораспределителя установлены золотники 6 с центрирующей пружиной 9, которая возвращает золотник из рабочего положения в нейтральное (среднее). В рабочих секциях гидрораспределителя устанавливаются гидрозамки 1 для фиксации поршней (плунжеров) гидроцилиндров в промежуточных положениях. Все секции соединены тремя каналами: подвод рабочей жидкости; управление; слив. Рабочая жидкость в канал управления подается от напорного гидроклапана 108. При смещении золотника из нейтрального положения канал управления перекрывается, в результате чего давление в системе повышается. Секция работающая на подъем/опускание жатки отличается от остальных устройством гидрозамка (см.рис 1). Секции имеющие один гидрозамок работают на плунжерные гидроцилиндры (см.рис 2).

В нейтральном положении золотника 5 жидкость подводится в полость  $P$ , а через канал управления жидкость идет на слив. При перемещении золотника влево жидкость из полости  $P$  поступает в полость  $\Gamma$  и далее через гидрозамок 1 и канал  $A$  подается в бесштоковую полость гидроцилиндра. При этом поршень 14 под действием давления жидкости перемещается вправо открывая гидрозамок, что позволяет жидкости из штоковой полости гидроцилиндра по каналу  $B$  через гидрозамок и полость  $D$  попасть в канал слива  $T$ . При перемещении золотника



вправо жидкость из полости  $P$  поступает в полость  $D$  и далее через гидрозамок 1 и канал  $B$  подается в штоковую полость гидроцилиндра. При этом поршень 14 под действием давления жидкости перемещается влево открывая гидрозамок, что позволяет жидкости из бесштоковой полости гидроцилиндра по каналу  $A$  через гидрозамок и полость  $\Gamma$  попасть в канал внутри золотника и через него в канал слива  $T$ . В секциях с одним гидрозамком жидкость при перемещении золотника вправо из полости  $P$  подается в полость  $D$  и далее через гидрозамок к гидроцилиндру. При перемещении золотника влево полость  $P$  соединяется с полостью  $\Gamma$ , а полость  $D$  со сливом  $T$ . При этом поршень под действием давления жидкости перемещается вправо и открывает гидрозамок пропуская жидкость на слив.

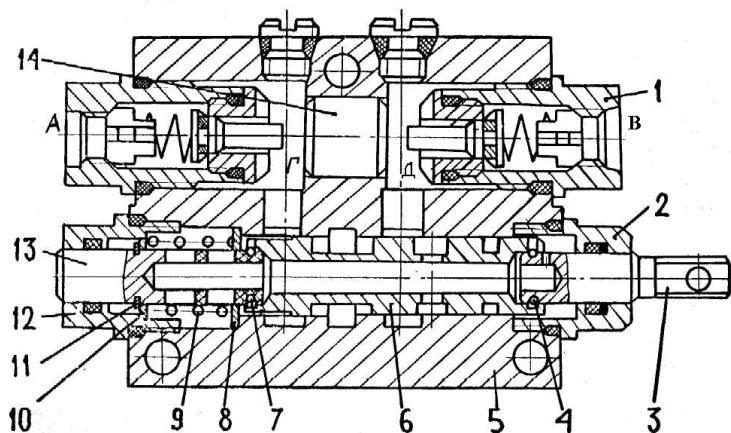


Рис. 1 Рабочая секция гидрораспределителя с мускульным управлением:

- 1 — клапан запорный; 2 — крышка; 3 — тяга; 4, 7 — стопор; 5 — корпус; 6 — золотник; 8 — шайба; 9 — пружина; 10 — шайба; 11 — стопорное кольцо; 12 — крышка; 13 — хвостовик; 14 — поршень

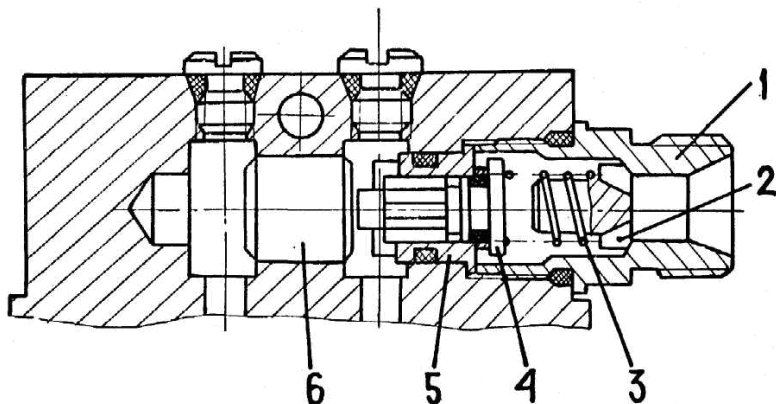


Рис. 2 Запорное устройство секции подъема жатки:  
 1 — штуцер; 2 — крестовина; 3 — пружина; 4 — клапан; 5 — втулка; 6 — поршень

### 3 Технические требования гидрораспределителя с мускульным управлением типа P50-3.

Гидрораспределители с мускульным управлением типа P50-3 должны соответствовать требованиям ТУ 23.1.1953-88  
 Тип распределителя: направляющий, секционный, с мускульным управлением.  
 Основные параметры распределителя приведены в таблице 1.



Устройство гидрооборудования

Таблица 1

Наименование параметра	Величина параметра	Обозначение стандарта устанавливающего величину параметра
Условный проход, мм	12	ГОСТ 16516-80
Давление на входе, МПа		
номинальное	16	ГОСТ 12445-80
максимальное	20	
минимальное	2	
Максимальное допустимое давление на выходе (сливе), МПа	1	
Расход рабочей жидкости, л/мин		ГОСТ 13825-80
номинальный	50	
максимальный	63	
Сила управления, Н, не более	200	
Максимальное число рабочих секций, шт	6	
Температура рабочей жидкости, град. С		
минимальная	-5	
максимальная	80	
Номинальная тонкость фильтрации, мкм	25	
Температура окружающей среды, град. С		
минимальная	-40	
максимальная	45	
Чистота рабочей жидкости не ниже 15 класса		ГОСТ 17216-72
Кинематическая вязкость, мм/с		
минимальная	6	
номинальная	30-35	
максимальная	800	
Габаритные размеры, мм не более	325x180x105	
80% технический ресурс:		
моточасов	3000	
циклов на рабочую секцию	20000	
Срок службы, лет	10	
Внутренняя герметичность (максимальные внутренние утечки в сопряжении "золотник-корпус") при номинальном давлении, см/мин	60	
Утечки через закрытый запорный клапан гидрозамка	не допускаются	
Перепад давлений на золотнике рабочих секций на входе (выходе) к гидродвигателю (прямой или обратный проход жидкости) при номинальном расходе, МПа, не более	0.5	
Перепад давлений на гидрозамке рабочих секций на входе (выходе) к гидродвигателю (прямой или обратный проход жидкости) при номинальном расходе, МПа, не более	0.4	
Масса, без рабочей жидкости, кг, не более	19	
Удельная масса, кг мин/МПа л	0,0024	



## **4 Методика проведения приемных испытаний гидрораспределителя с мускульным управлением типа P50-3.**

Испытания проводятся изготовителем с целью проверки параметров на соответствие техническим условиям.

Испытаниям должен подвергаться каждый распределитель.

При испытаниях должны быть проверены:

1. Функционирование,
2. Прочность,
3. Наружная и внутренняя герметичность.

### **Проверка функционирования.**

Проверка функционирования должна проводиться в два этапа:

1 этап - при минимальном давлении;

2 этап - при номинальном давлении.

При этом на обоих этапах подлежат проверке: проход рабочей жидкости в линиях предусмотренных схемой распределителя; характер и величину перемещения золотников. Проверку проводить при давлении  $(2 \pm 0,2)$  МПа и  $(16 \pm 1)$  МПа на входе в распределитель и канал управления и расходе  $(50 \pm 5)$  л/мин. Проверку проводить при максимальной температуре рабочей жидкости  $+80^\circ\text{C}$  и при температуре обеспечивающей вязкость масла  $(30-35)$  мм/с. Проход рабочей жидкости в линиях распределителя оценивается визуально, должно быть обеспечено четкое открытие и закрытие гидролиний при перемещении золотников. Сначала проводить проверку прохода жидкости через основные гидролинии, затем через канал управления.

Проход рабочей жидкости в гидролиниях проверять как на участках "вход распределителя - выход рабочих секций" так и на участках "вход рабочих - выход распределителя". Характер, величину хода золотников и усилия необходимые для перемещения золотников проверять 3-х--5-ти кратным перемещением золотников на каждом, из подводимых на вход, давлении жидкости при заглушённых выходах к потребителям на рабочих секциях и канале управления. При этом максимально





допустимое усилие на перемещение золотников - 200 Н, золотники должны перемещаться плавно, без заклинивания, должен быть обеспечен четкий возврат золотников в нейтральную позицию при их освобождении.

### **Проверка прочности.**

Проверку прочности необходимо осуществлять при нейтральном положении золотников, одновременным подводом рабочей жидкости под давлением  $(24 + 2)$  МПа - к входному отверстию в подводящей крышке и на вход канала управления, и давлением  $(1,5 + 0,5)$  МПа к сливному отверстию отводящей крышки. Остальные отверстия должны быть заглушены. При этом потение наружных поверхностей, течь по резьбам и стыкам не допускаются.

Продолжительность испытания не менее 3-х минут.

### **Проверка наружной герметичности.**

Наружная герметичность должна проверяться следующим образом: При одновременно или поочередно смещенных в крайние позиции золотниках и подводе жидкости под давлением  $(24 + 2)$  МПа на вход распределителя. Остальные отверстия (кроме выходного отверстия распределителя) должны быть заглушены. При нейтральной позиции золотников и подводе жидкости под давлением  $(24 + 2)$  МПа на вход канала управления. Остальные отверстия (кроме выходного отверстия распределителя) должны быть заглушены. При нейтральной позиции золотников и подводе жидкости под давлением  $(2 \pm 0,2)$  МПа к выходному отверстию распределителя, остальные отверстия должны быть заглушены. Испытание проводить после выполнения пяти полных циклов перемещения золотников. При испытаниях время испытания в каждой позиции золотников не менее 3-х минут, при этом потение наружных поверхностей, течь по резьбам и стыкам не допускаются. Допускается наличие масляной пленки без каплеобразования на выходящих наружу концах золотников (хвостовиках и тягах).

Методика испытаний составлена в соответствии с ГОСТ 20245-74.

### **Проверка внутренней герметичности**



При проверке внутренней герметичности должны определяться:

1 Утечки в сопряжении "золотник-корпус" рабочих секций при нейтральной позиции золотников;

2 Суммарные утечки в сопряжении "золотник-корпус" и "поршень-корпус" при смещенных в крайние положения золотниках;

3 Утечки по каналу управления в сопряжении "золотник-корпус" при нейтральных и смещенных в крайние позиции золотниках;

4 Герметичность запорных клапанов.

5 Проверку герметичности по пунктам 1, 2 проводить на рабочих секциях до сборки их в узел подводом жидкости под давлением  $(16 \pm 1)$  МПа на входное отверстие. Величина утечек должна проверяться на сливном отверстии и не должна превышать

в каждом случае  $60 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Остальные отверстия заглушить.

6 Проверку герметичности по пункту 3 проводить на рабочих секциях до сборки их в узел подводом жидкости под давлением  $(16 \pm 1)$  МПа на входное отверстие канала управления. Величина утечек в каждой позиции не должна превышать  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

Остальные отверстия заглушить.

7 Проверку герметичности по пункту 3 проводить до установки запорных клапанов в корпуса рабочих секций подводом рабочей жидкости под давлением  $(16 \pm 1)$  МПа в надклапанную полость. Капельные утечки и подтекание жидкости в местах уплотнений не допускаются.

8 При проверке по пунктам 1, 2, 3, 4 утечки должны измеряться не менее чем через 60 с после установления заданного давления, измерения должны проводиться в течение не менее 60 с.

9 Рекомендуемая схема стенда для испытаний приведена на Рис. 3.



Устройство гидрооборудования

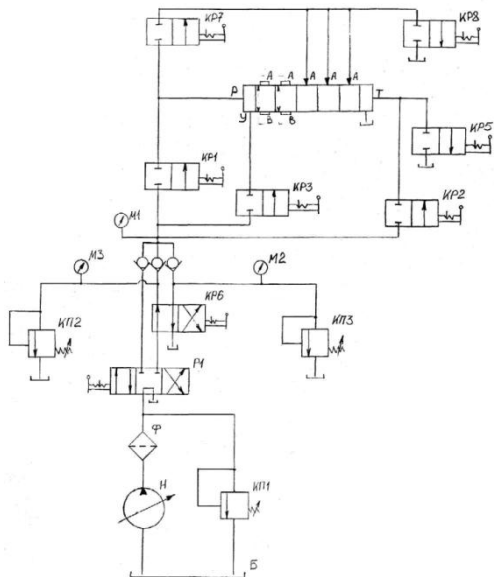


Рисунок 3 - Схема стенда

Н – насос; Ф - фильтр; Р1 – распределитель; КР1–КР 8 – крановые распределители; М1-М3 – манометры; Б – бак; КП1-КП3 – предохранительные клапаны ( $P_{настр1} = 24\text{МПа}$ ,  $P_{настр2} = 2\text{МПа}$ ,  $P_{настр3} = 16\text{МПа}$ ).

### 5 Заключение

Произвести анализ результатов полученных в ходе испытаний и дать мотивированное заключение о техническом состоянии испытанного образца.



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность ГПП. И.: Машиностроение 1990, 248 с.
2. Свешников В.К, Усов А.А. Станочные гидроприводы. М. Машиностроение, 1995, 512 с.
3. ТУ 23.2.1954 - 88 напорный гидроклапан НГ16-50-16
4. (108.00.000В).
5. Программа — методика приемо-сдаточных испытаний напорного гидроклапана НГ16-50-16 (108.00.000В).
6. Сирицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро и пневмоприводов. М.: Машиностроение, 1990, 248с.
7. В.И. Антоненко, В.С.Сидоренко Синтез структуры и разработка математической модели автоматизированных многодвигательных гидромеханических систем - Вестник ДГТУ -Ростов н/Д, 2009, т 9- С. 117-121
8. Артемьева Т.В. и др. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод. «Машиностроение», М.,2007.
9. Лепешкин А.В. и др. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод. М. МГИУ,,2003.
10. А.с. 1670191 (СССР). Делительно-суммирующий клапан / В.И. Антоненко, А.Т. Рыбак, Ю.А.Яцухин - Заявл. 27.03.86. - Опубл, в 1992, № 24
11. Антоненко В.И., Сидоренко В.С К вопросу о синхронных механизмах мобильных машин– Вестник ДГТУ -Ростов н/Д, 2009, т 9 - С 121-129.
12. Наземцев А.С., Рыбальченко Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы и системы Москва "Форум" 2007
13. Навроцкий К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов, - М.: Машиностроение, 1991.
14. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник для ВУЗов/ А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин, А.А. Шейпак. – М.: Изд-во Мин. образ. РФ, 2003.
15. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 2002г.
16. Михайлин, Лепешкин, Фатеев. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. 1998 год.
17. В.С. Сальников. Механика жидкости и газа, гидро- и пневмопривод. 2002 год.
18. Х. Экснер и др. (Bosch Group). Гидропривод. Основы и компоненты. Учебный курс по гидравлике. Тои 1. 2003 год.



19. Гейер В. Г., Дулин В. С., Заря А. Н. Гидравлика и гидропривод: Учеб для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1991.
20. Лепешкин А. В., Михайлин А. А., Шейпак А. А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник, ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. / под ред. А. А. Шейпака. — М.: МГИУ, 2003.
21. Схиртладзе А. Г., Иванов В. И., Кареев В. Н. Гидравлические и пневматические системы. — Издание 2-е, дополненное. М.: ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2003 г.
22. Схиртладзе А.Г., Иванов В.И., Кареев В.Н. Гидравлические и пневматические системы. — Москва: ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2003
23. Соколовский Г. Г.: Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, М: «Академия», 2006, ISBN 5-7695-2306-9
24. Москаленко, В.В. Электрический привод. — 2-е изд. — М.: Академия, 2007. — ISBN 978-5-7695-2998-6
25. Трифонов О.Н., Иванов В.И., Трифонова Г.О. Приводы автоматизированного оборудования. Учебник для техникумов. - Москва: Машиностроение, 1991.
26. Теория электропривода. Гриф МО Республики Беларусь. Авторы: Павлячик Л.Б., Фираго Б.И. Год выпуска – 2007.
27. Основы электропривода. Гриф УМО ВУЗов России. Авторы: Епифанов А.П. Год выпуска - 2008.
28. Электрический привод. Автор: Онищенко Г.Б.. Год выпуска - 2008.
29. Системы автоматизированного управления электропривода. Гриф Государственного комитета РФ по высшему Образованию. Автор: Москаленко В.В.. Год выпуска - 2007.